

## 一般研究 34 特殊土壌における暗渠排水の長期機能診断と維持に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 20～平 22

担当チーム：資源保全チーム、寒地技術推進室

研究担当者：横濱充宏、大深正徳、中山博敬、大岸譲、岡村裕紀  
池田晴彦、細川博明、煤孫英雄

### 【要旨】

本研究では、北海道の各種（ホタテ貝殻、カラマツチップ、石灰岩、粗粒火山灰等）疎水型暗渠の排水機能実態を把握して機能低下要因の解明、長期機能維持のための診断手法及び維持管理手法の提案を行う。

平成 20 年度は、疎水材にホタテ貝殻やカラマツチップを使用した暗渠の長期供用後の実態調査を行い、その排水機能の持続性や疎水材の耐久性を明らかにした。その結果は、これらの暗渠の排水機能は慣行的な工法と比べても 11 年経過した時点で遜色なく、機能が損なわれるようなことはなかった。また、耐久性も十分あることが確認された。農地から鉄分や富栄養分の窒素等の流出抑制も認められ、これらの資材活用による環境負荷抑制が期待された。

引き続き、資材をかえた疎水型暗渠の排水機能実態を把握するため、平成 21 年度には石灰石を疎水材に用いた場合の暗渠機能の実態調査を行った。その結果、石灰石を疎水材に用いた暗渠の排水機能は、施工後 3 年が経過しても、土地改良事業計画設計基準（計画）「暗きょ排水」に示されている地下水位や土壌透水係数の指標を満足していることが確認され、損なわれていないと判断された。また、一般的に酸性を帯びている泥炭土圃場からの排水が石灰石成分の Ca の溶出に伴い中和されていたことから、下流域への環境負荷抑制が期待されることが判明した。

平成 22 年度には、疎水材に火山礫を用いた暗渠を対象として、施工後 3 年、6 年、9 年が経過した圃場における暗渠排水機能や疎水材性状の変化を調査し、使用資材の異なる疎水材型暗渠の排水機能実態等に関する情報量を増やすとともに、得られたデータを活用して暗渠排水機能の低下要因の解明や暗渠機能の簡易な診断手法の提案を試みることにした。その結果、火山礫を疎水材に用いた暗渠施工圃場では、いずれの圃場においても、疎水材の性状変化を確認することなく、また、暗渠排水機能の低下も認められなかった。平成 20 年度の成果を含めてみても、どの疎水材型暗渠とも適正な排水機能の維持が確認される結果となり、従来の掘削土を埋め戻す工法に比べて、北海道内で実施された主だった疎水型暗渠の排水機能の持続性や優位性が示されたと言えよう。一方で、疎水材型暗渠の機能低下要因を明確に示すには、引き続き、さらに長期間をかけての調査が必要であると考えられた。また、暗渠工の簡易な機能診断手法として、貫入式土壌硬度計を用いた地下水位の推定手法の提案を試みた結果、地下水位とコーン指数の間には 1 次関数で高い相関が確認されたことから、コーン指数による地下水位の推定の可能性が示唆された。最後に、暗渠の排水機能を長期に維持するための手法の参考情報として、これまでの実施事例や試験施工事例を整理した。

キーワード：暗渠、泥炭土、機能、疎水材、耐久性

### 1. はじめに

北海道は積雪寒冷な気候のため、耕作可能期間が短く、地温も低い。また、大規模機械化農業が盛んで、圃場にはより大きな地耐力が求められる。このため、融雪後や降雨後に速やかに地温や地耐力が回復して営農作業が行えるよう、迅速な圃場排水機能の維持が求められている。

そのため、過去、北海道では、暗渠管敷設時に掘削した現地土をそのまま埋め戻す型式の暗渠施工を行って

たが、排水効果が十分でなく、近年は、掘削土の代わりに、粗粒火山灰、カラマツチップ、ホタテ貝殻等の透水性に優れた地域特産の資材を疎水材として埋め戻す暗渠（以後、疎水材型暗渠と呼称する）が施工されるようになってきた<sup>1)~3)</sup>。また、北海道に広く分布する泥炭土地帯では、酸化鉄が沈殿することで暗渠管を閉塞させたり、さらに下流域にシジミ漁場を有する場合、暗渠から流出した鉄分が赤サビとなってシジミに付着して商品価値を

低下させたりする現象が一部の地域で認められたことから、これらの地域では、疎水材に鉄分の溶出を抑制する石灰岩やホタテ貝殻が利用されるようになってきている。

しかし、これらの疎水材型暗渠の施工の歴史は浅く、機能診断のノウハウと長期的機能維持手法は未確立である。このため、これらの新しい暗渠排水の機能状況の的確な診断手法の開発とこれに基づく長期的な機能維持手法の提案が求められている<sup>4)</sup>。

そこで、本研究課題では、下記4項目についての研究を実施することとした。北海道の各種疎水型暗渠排水(ホタテ貝殻、カラマツチップ、石灰岩、粗粒火山灰等)のうち、機能良好なものと同機能不良なものの特徴を比較検証して暗渠機能の低下要因を明らかにするとともに<sup>5),6)</sup>、これらの成果を踏まえた上で、歴史の新しい疎水型暗渠排水機能の長期維持のための診断手法及び暗渠排水機能の長期維持手法を提案するものである。

- 1) 機能良好暗渠・機能不良暗渠の実態解明 (H20～H21)
- 2) 暗渠機能低下要因の解明 (H21～H22)
- 3) 暗渠機能の長期維持のための機能診断手法の提案 (H22)
- 4) 暗渠機能の長期維持手法の提案 (H22)

平成20年度は、上述1)に関連して、長期供用後の疎水材(ホタテ貝殻、埋木チップ)型暗渠の実態調査を行い、その暗渠排水機能の持続性や、疎水材の耐久性について解明した。引き続き平成21年度も、上述1)に関連して、疎水材型暗渠のうち、石灰石を用いた暗渠(ここでは、石灰石暗渠と呼称する)の排水実態調査を行い、その暗渠排水機能の特徴を解明した。

平成22年度には、上述1)、2)、3)に関連して、火山礫を用いた暗渠(以後、火山礫暗渠と呼称する)を対象として、長期供用後の疎水材型暗渠の実態調査、暗渠機能低下の要因の解明、暗渠機能の長期維持のための機能診断手法として、貫入式土壌硬度計を用いた簡易な暗渠診断手法の提案を試みた。さらに、上記4)に関連して、暗渠排水の機能を長期に維持するための手法の参考となる、これまでの実施事例や試験施工事例を整理した。

## 2. 機能良好暗渠・機能不良暗渠の実態解明

### 2.1. 疎水材にホタテ貝殻や埋木チップを用いた暗渠

#### 2.1.1. 調査手法

北海道北部・浜頓別町の市街地より南東に約2.5km離れた採草牧草地で調査を実施した(図1, 写真1)。この調査圃場には、1997年に試験的に3タイプの暗渠工が設置されており、これまでに施工後の暗渠排水状況、土壌、

疎水材の性状変化について経年調査が実施されてきた。今回は施工後11年目の経年調査になる。

調査圃場及び3タイプの暗渠施工断面(施工時)を図2、3に示す。施工当時、調査圃場には貝殻区、チップ区、慣行区の3種類が設けられた。



図1 調査圃場位置図



写真1 調査圃場

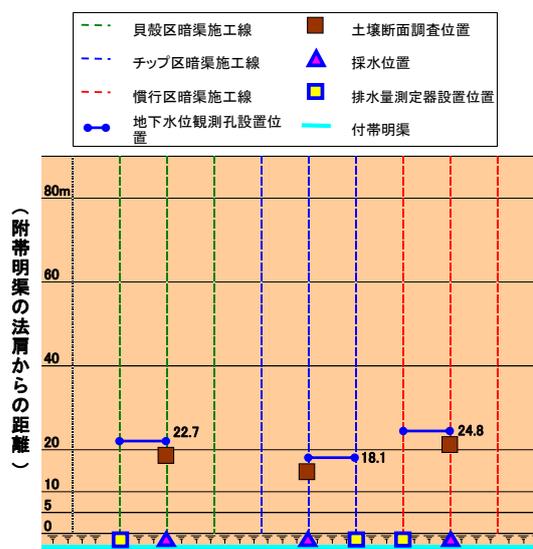


図2 調査圃場内詳細

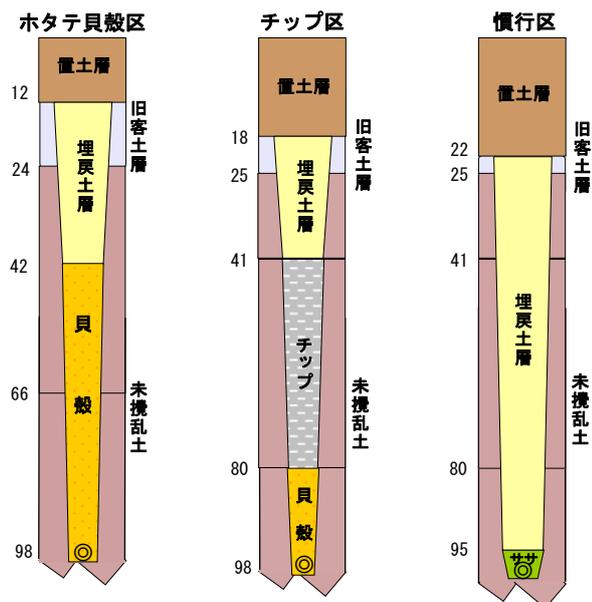


図3 暗渠施工断面(施工時)

- 1) 貝殻区では、深さ約40cmまでホタテ貝殻を埋設し、さらにその上部に泥炭土を埋め戻した。
- 2) チップ区では、暗渠管を敷設後、深さ80cmまでホタテ貝殻を、その上に深さ約40cmまで埋木チップ(圃場から掘り出した埋木・アカエゾマツをチップ化したもの)を、さらにその上部に泥炭土を埋め戻した。
- 3) 慣行区では、掘削土をそのまま埋め戻す従来からある暗渠施工方法が採用されており、ここでは、掘削土だけではなく暗渠管上部約4cmをササで覆い、その上部を深さ約20cmまで泥炭土で埋め戻した。

なお、暗渠間隔は15m、暗渠埋設深は地表面より約1m深で、暗渠管には内径50mmのコルゲート多孔管が使用された。

また、疎水材の耐久性等を追跡するため、1997年に、あらかじめ重量測定したホタテ貝殻をナイロン製ネットの袋に入れて貝殻区の疎水材層の中に埋設し、さらに付近の付帯明渠にも同様に重量測定したホタテ貝殻を浸漬した。埋木チップも付帯明渠に浸漬した。

このような調査圃場において以下に示す調査を行い、排水状況、土壌、疎水材性状の11年目の経年変化を明らかにした。なお、施工後2年目、5年目にも同様の調査を実施してきた。

1) 地下水位

設定区ごとの暗渠間(暗渠施工ラインと直交方向)に塩ビ管で10箇所(No.1~No.10)の測水管を設置し、自記地下水位計(OYO S&DLmini)で地下水位の変動を測定した(図2,4)。観測期間は2008年8月中旬から11月中旬にかけてで

あり、8月中旬から9月上旬にかけては図3に示す測点No.1~5の片側5箇所だけで観測した。

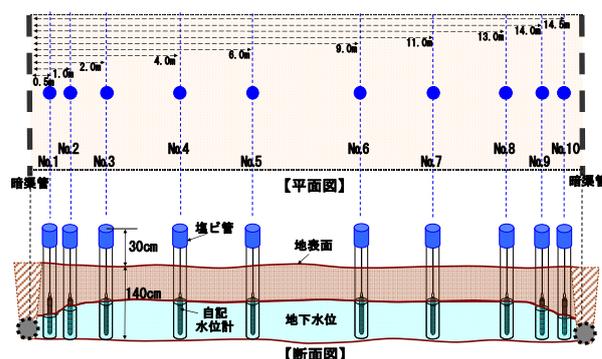


図4 地下水位観測孔設置詳細

2) 暗渠管からの排水量

設定区ごとの暗渠の落ち口に排水量測定器を設置し、2008年7月上旬から11月中旬まで暗渠間からの排水量を測定した(図3)。また、水質分析用試料を採水する際に手動でも排水量を確認し、排水量測定器の測定値の精度を検証した。この排水量測定器とは、電子式水道メーターを用いた暗渠排水量測定装置である(図5)。既設暗渠管にストレーナーを介して電子水道メーターを接続し、排水量を1分間隔で測定できる。測定データは地上部に設置したデータローガーに蓄積するシステムになっている。電子水道メーターは周辺からの水の影響を避けるため、防水ボックスに収納しておく。

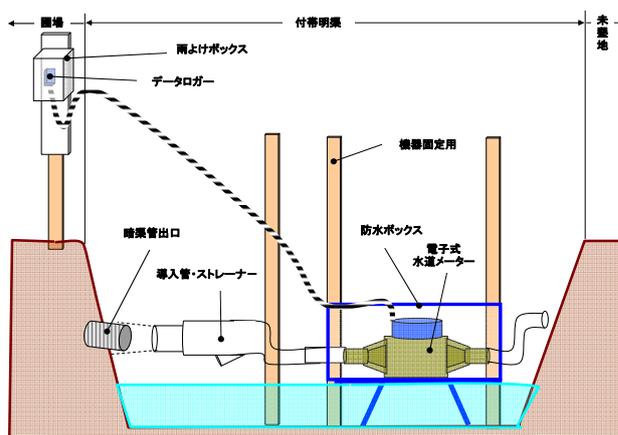


図5 排水量測定器

3) 暗渠管からの排水水質

設定区ごとの暗渠管から採水し、その水質を分析した。採水は2008年7月に2回、8~11月は各月1回、計6回行った。分析項目は次の通りである。

pH (H<sub>2</sub>O) 【ガラス電極法】、Ec(電気伝導度) 【電気

伝導度計】、Ca(カルシウム)【原子吸光度法】、T-N(全窒素)【原子吸光度法】、NH<sub>4</sub>-N(アンモニア態窒素)【原子吸光度法】、NO<sub>3</sub>-N(硝酸態窒素)【原子吸光度法】、T-P(全リン)【原子吸光度法】、K(カリウム)【原子吸光度法】、T-Fe(全鉄)【原子吸光度法】、D-Fe(溶解性二価鉄)【原子吸光度法】

4) 土壌断面及び土壌物理・理化学性

設定区ごとの暗渠施工断面の土壌断面調査を実施するとともに(図 2)、暗渠埋戻土層や未攪乱土層から土壌を採取し、各土層の土壌物理性及び理化学性について分析した。分析項目及び方法は次の通りである。

容積重、三相比、比重、含水率(105℃・24 時間)、水分飽和度、飽和透水係数【変水位法】、孔隙量、粒度分布、pH (H<sub>2</sub>O)【ガラス電極法】、灼熱損失(550℃・17 時間)、分解度、腐植、全窒素【原子吸光度法】、C/N【CN コーダー】

5) 疎水材性状

1997 年に疎水材層の中に埋設しておいた貝殻と付帯明渠に浸漬しておいた貝殻を 2008 年 11 月に回収し、外観観察、性状計測、成分分析を行った。同時に、チップ区に埋設された埋木チップとホタテ貝殻も採取し、同様の調査を行った。なお、付帯明渠に浸漬した埋木チップはすべて分解してしまい、何も残っていなかった。主な調査項目及び方法は次の通りである。

外観(目視による)、重量、密度(水銀置換法)、載荷強度(一軸圧縮試験機)、成分分析(貝殻;蛍光 X 線分析、埋木チップ; CHN コーダー法等)

6) 圃場地盤高(地盤沈下量)

調査圃場を 10mm メッシュに区切り、水準測量で圃場の地盤高を計測した。暗渠施工時、施工後 2 年目、5 年目にも同様の水準測量を行っており、これらと比較して経年変化を整理した。なお、平成 20 年度の調査では、貝殻区及びチップ区で暗渠施工ラインの沈下が著しかったことから、これらの暗渠施工ラインについては概ね 1m 間隔で水準測量を行った。

2. 1. 2 調査結果

2. 1. 2. 1. 地下水位

図 6 に、2008 年 8 月 15 日～11 月 17 日の地下水位及び付帯明渠水位の変動、降水量、暗渠管理設深を示す。また、図 7 に設定区ごとの各月平均地下水位を示す。

貝殻区では暗渠管の埋設位置がチップ区や慣行区と比べて高い位置にあることからこれらの区に比べて高い位置で地下水位が変動している。しかし、まとまった降水があった時期をみると、貝殻区、チップ区、慣行区のどの設定区でも同じような水位幅の地下水位上昇があり、また、地下水位低下時も特に設定区間で差が認められることなく、それぞれ暗渠管埋設深度まで水位が低下していた。図 7 の各月の平均地下水位を設定区間で比較しても有意な差は認められない。疎水材にホタテ貝殻や埋木チップを用いても慣行区と比べて遜色のない排水機能を施工後 11 年目でも維持していることが確認できた。

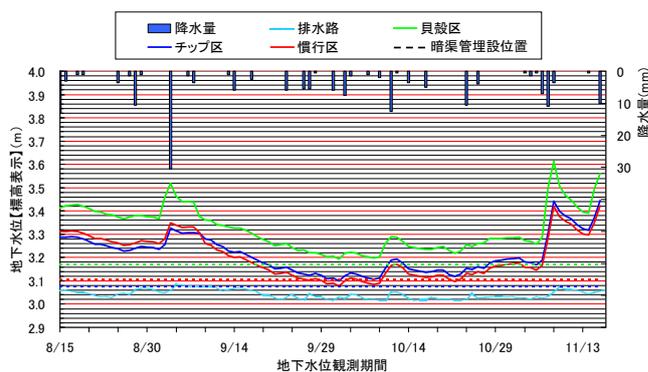


図 6 観測期間中の地下水位変動

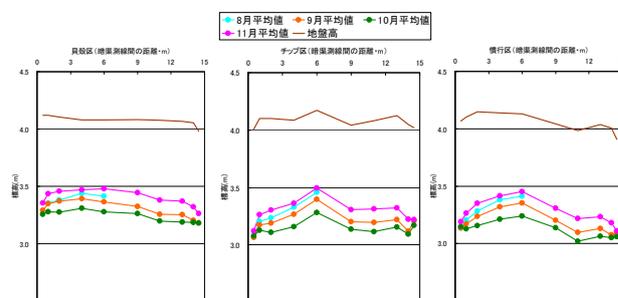


図 7 貝殻区、チップ区、慣行区ごとの月平均地下水位

2. 1. 2. 2 暗渠管からの排水量

図 8 に排水量の観測結果を示す。

観測開始直後に 63.5mm/day の降雨があった。その時の排水状況を見ると、明らかに貝殻暗渠からの排水量の多さが確認できる。一方、この間のチップ区と慣行区には有意な差は認められないものの、この大量降雨後の観測期間中にまとまった降雨があった際にはチップ区の排水量測定器には反応があることから埋木チップ区の暗渠の方が慣行区の暗渠より排水機能が高く維持されているのではないかと推測される。

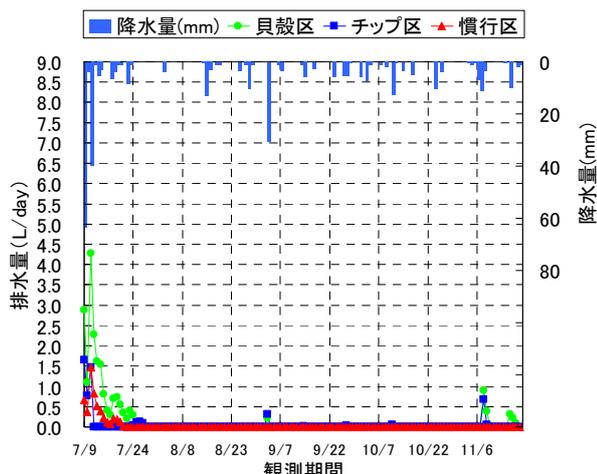


図8 排水量推移

2. 1. 2. 3. 暗渠管からの排水の水質

図9に暗渠管からの排水の水質結果を示す。

pH、Ec、Ca濃度はいずれもチップ区、慣行区よりも貝殻区で高く、貝殻の溶出が伺われる。Fe濃度はホ貝殻区の方が他の設定区より低かった。これは、貝殻の影響により排水中の二価鉄が酸化し酸化鉄として沈積されたためであろう。ホタテ貝殻には下流域への鉄成分の流出抑制効果が期待される。また、肥料由来成分の内、アンモニア態窒素とリン以外の成分は設定区の違いによる差は認められず、また、アンモニア態窒素とリンにあってもむしろ慣行区において多く流出する傾向が認められた。ホタテ貝殻や埋木チップの使用によって下流域への富栄養分が流出する弊害はなさそうである。ただ、貝殻区とチップ区のSSとBODが慣行区に比べて同程度の高い値になっていたことが懸念される。

2. 1. 2. 4. 土壌断面及び土壌物理・理化学性

施工後 11 年目の暗渠施工断面付近の未攪乱土壌の容積重、飽和透水係数、易有効水分孔隙、pH、腐植、灼熱損失、全窒素含量を設定区間で比較したところ、いずれの項目も明確な差はなかった (図 10~16)。しかし、慣行区の飽和透水係数は、置土層やその下層の泥炭土の方が未攪乱土層より小さくなっていたが、貝殻区、チップ区ではそのような低下現象はなかった。疎水型暗渠では暗渠管上方からの排水ルートの維持が考えられ、それが排水量の差として現れたのではないかと推測される。

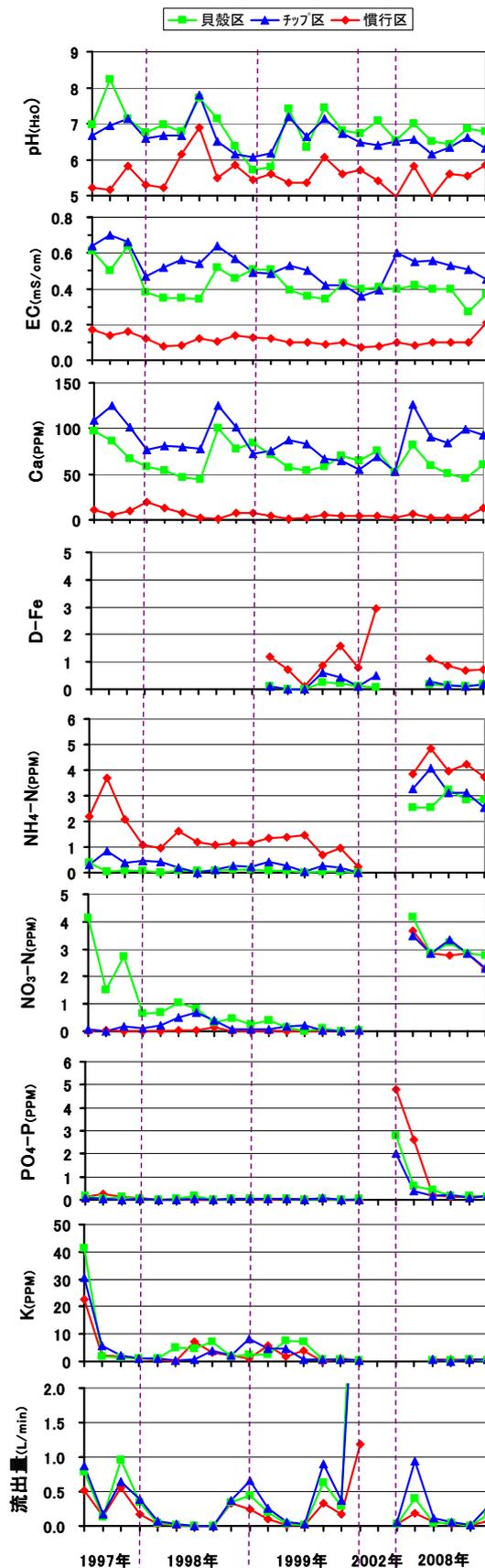


図9 暗渠管からの排水の水質

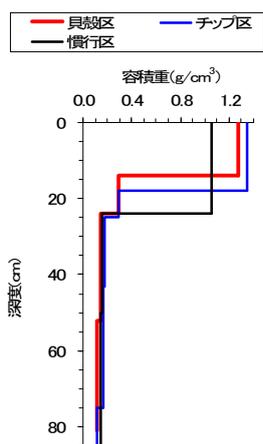


図 10 容積重

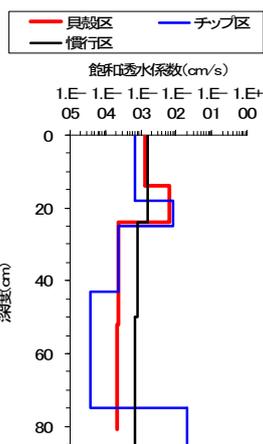


図 11 飽和透水係数

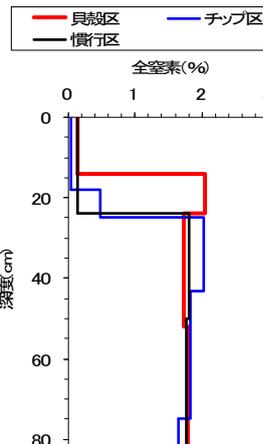


図 16 全窒素

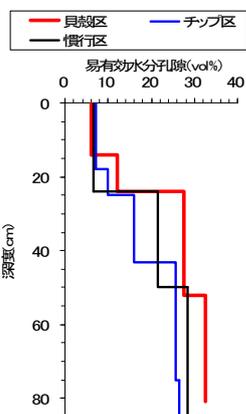


図 12 易有効水分孔隙

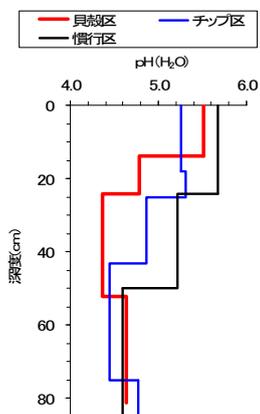


図 13 pH (H<sub>2</sub>O)

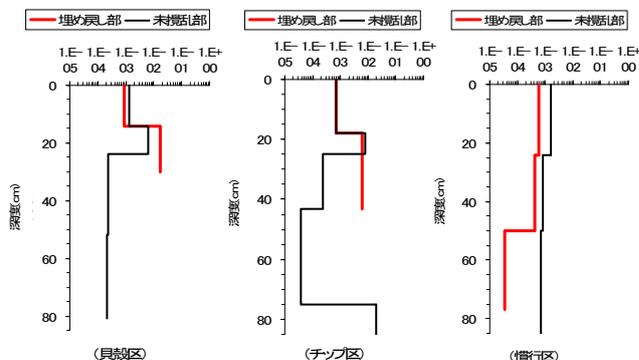


図 17 飽和透水係数の埋戻し土層と未撈乱土層との比較

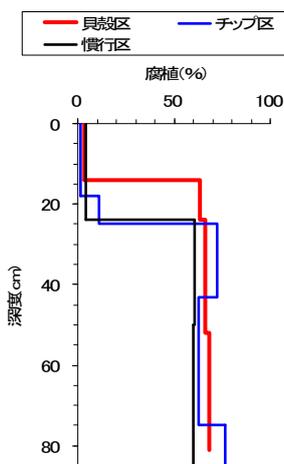


図 14 腐植

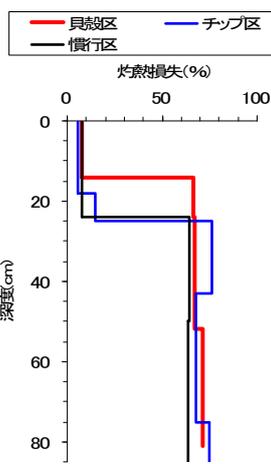


図 15 灼熱損失

### 2. 1. 2. 5. 疎水材性状

施工後 11 年目に回収したホタテ貝殻の状態を写真 2 に示す。

ホタテ貝殻の大きさ、厚さをみると図 18 のような傾向がみられた。貝殻区のホタテ貝殻には 11 年経過しても特に損傷が認められることはなく、むしろチップ区の貝殻や付帯明渠に浸漬していた貝殻の損傷が著しかった。調査開始当初は、泥炭地で特に水没するような条件下での貝殻の耐久性が短いと予想していたが、ホタテ貝殻単独での疎水材への使用であれば、11 年経過後もその耐久性に支障はなさそうである。ホタテ貝殻のチップとの併用は貝殻の劣化を促進させるようである。ただ、写真 8 のように 11 年目のホタテ貝殻の表面には 5 年目にはみられなかった小さな穴が多数みられた。土壌中の酸性成分による貝殻の溶出が促進し始めたように推察される<sup>7)</sup>。

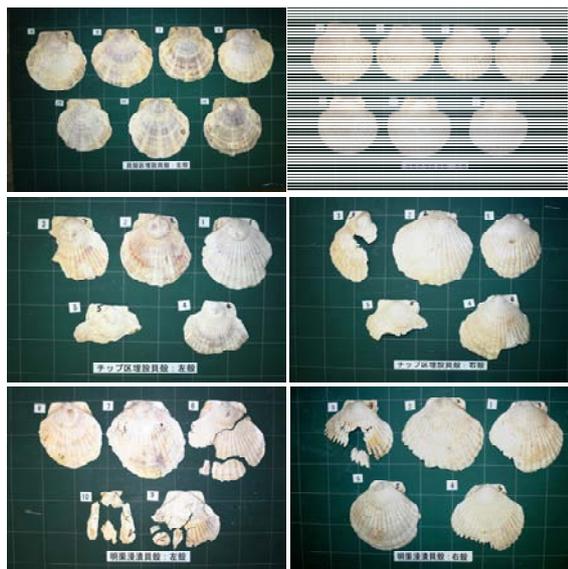


写真2 11年経過したホタテ貝殻外観

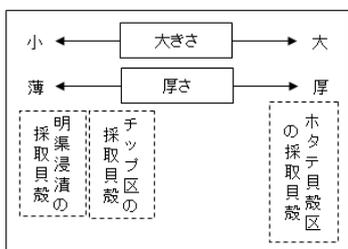


図18 外観によるホタテ貝殻の劣化程度



写真3 採取した貝殻にみられる穴

次に、ホタテ貝殻の重量の経時変化を残存率で図19に表す。ここでの残存率とは、埋設当時の貝殻重量を100%とした場合の経年変化後の重量との比率を表す。

明渠浸漬の貝殻は損傷が多く、浸漬開始時の5~6割程の重量であった。水没するような環境下での貝殻の耐久性低下が唆される。しかしながら、水没しやすいと考えられがちな泥炭地にあっても暗渠埋設部の貝殻は重量減少が2%しかなく、経年による損傷が少なかった。この後の密度、载荷強度、成分変化の結果も含めてホタテ貝殻が暗渠疎水材として長期的な耐久性を有していると考えられる。

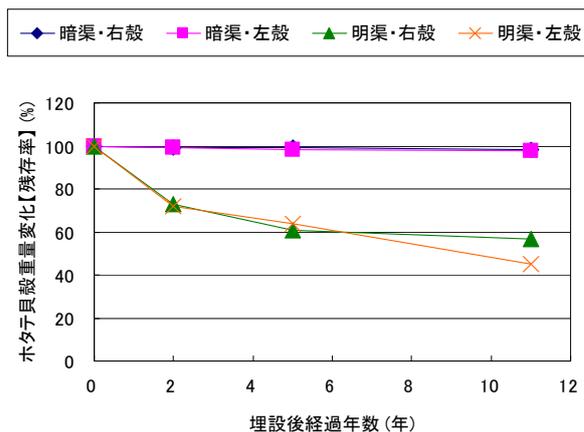


図19 疎水材使用貝殻の重量変化

図20にホタテ貝殻の密度の経年変化を示す。密度は、5年目に一時、値が下がったものの、ほぼ安定していた。貝殻の主成分である炭酸カルシウム分の溶出が懸念されたが11年目の密度変化量からは大きな変化は認められなかった。

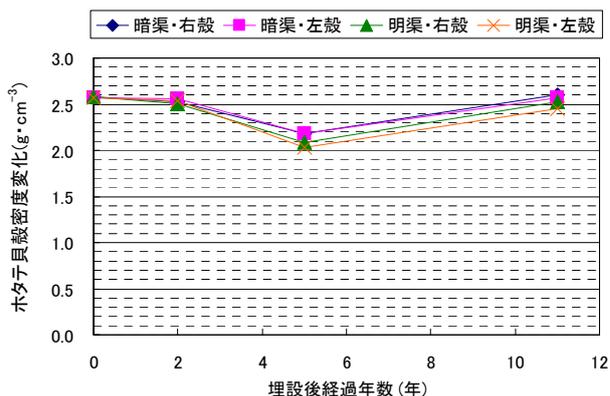


図20 疎水材使用貝殻の密度変化

図21にホタテ貝殻の载荷強度変化を示す。新鮮貝殻の左殻と右殻には有意な強度差があったが、埋設後2年目以降はその強度差はなくなり、ホタテ貝殻区の貝殻は36~64kgの範囲内を、附带明渠に浸漬されたものは12~36kgの範囲内を強度低下せず、ほぼ安定して推移した。

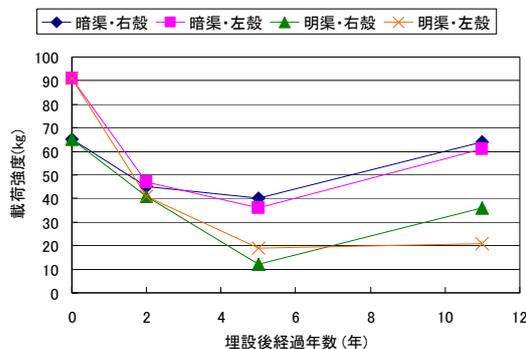


図21 疎水材使用貝殻の载荷強度変化

図 22 は、施工後 11 年目と 5 年目に回収したホタテ貝殻の成分を表している。ホタテ貝殻の成分は主に Ca、C、O で構成されており、5 年目までは明瞭な変化は認められなかったが 11 年目は Ca の溶出が示された。

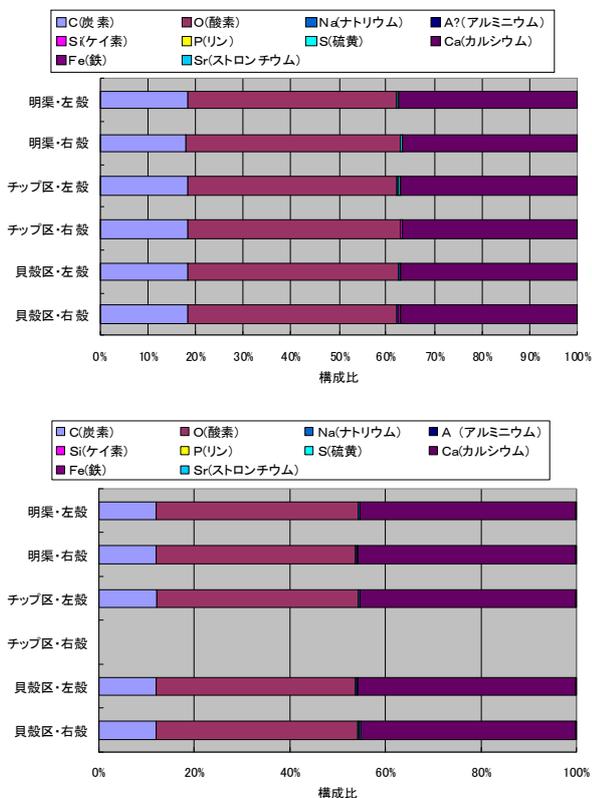


図 22 X線分析によるホタテ貝殻の成分構成  
(上;11年目、下;5年目)

なお、5年目のチップ区右殻のデータはない。

写真 4 は、埋木チップの 11 年目の状態である。11 年経過した埋木チップは所々、黒く変色し、表面が柔らかかった。C/N、ヘミセルロース由来マンノースの低下が確認されたが、リグニン、セルロース由来グルコースでは低下はなかった。外観、成分分析結果より軟腐朽菌による木材腐朽の進行が推測された。



写真 4 11年目の埋木チップ埋設状態

## 2. 1. 2. 6. 地盤沈下量

ここでは、施工時と 11 年目の地盤高を図 23 に示す。なお、施工時のデータは 10mm メッシュのデータしかないので、データの無い箇所を近傍のデータで補間して図化した。

暗渠埋設直上上の埋め戻し層で若干の沈下が 5 年目に確認されていた(貝殻区 9cm、チップ区 3cm、慣行区 5cm)。11 年目になるとさらにどの設定区でも沈下量が大きくなり、平均で貝殻区 13cm、チップ区 13cm、慣行区 12cm であった。特に貝殻区やチップ区で沈下量が大きかったわけではなく、圃場全体が均等に沈下した。ただ、疎水材型暗渠施工ライン上は沈下量が著しいことから、これらの範囲では今後の重機等の走行を考慮すると、客土等の対策が必要になると考えられる。

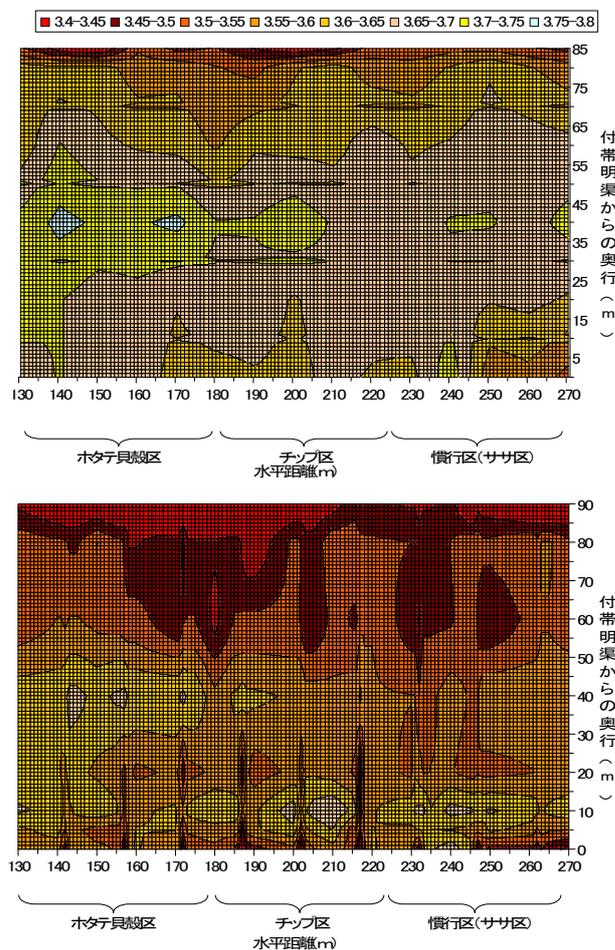


図 23 調査圃場地盤高 (上; 施工時、下; 11 年目)

## 2. 2 疎水材に石灰石を用いた暗渠

### 2. 2. 1. 調査手法

#### (1) 調査圃場の概要

調査は北海道天塩郡天塩町の牧草地で実施した。調査圃場の位置図と暗渠施工断面図を図 24、図 25 に示す。なお、ここでは、石灰石暗渠が施工されていた圃場を、No.1 圃場及びNo.2 圃場と呼称する。

No.1 圃場、No.2 圃場ともに母材の土壌はヨシ主体の低位泥炭土であった。また、両圃場の石灰石暗渠は 10m 間隔、平均埋設深 90cm で実施されており、いずれの暗渠管も内径 60mm のコルゲート多孔管が使用されていた。なお、本調査は、これらの石灰石暗渠の施工後 3 年目に当たる。

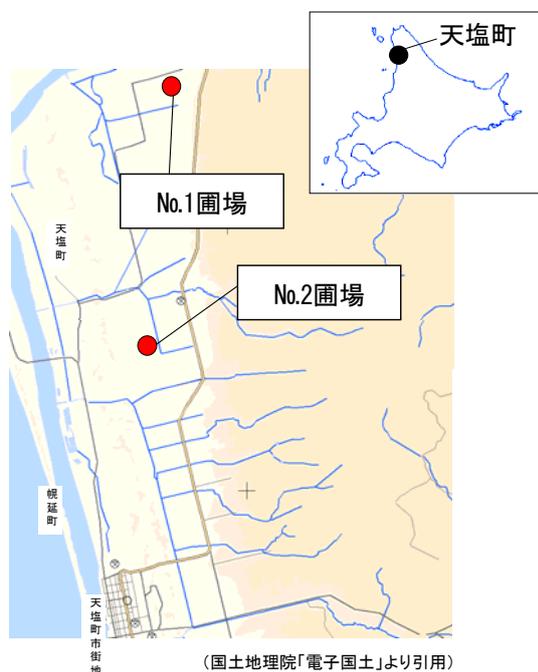


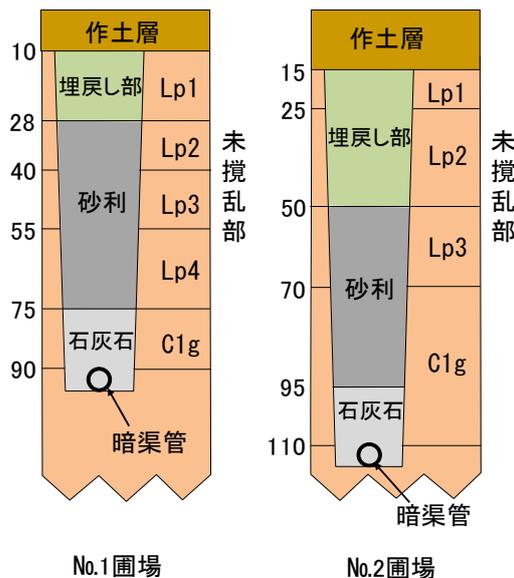
図 24 調査圃場位置図

#### (2) 調査・測定方法

調査圃場ごとに下記の調査を行った。地下水位観測孔と排水量測定器の設置位置及び、土壌断面調査位置は図 26 に示すとおりである。

##### a) 地下水位

図 26 に示すとおり、両圃場の暗渠と暗渠の施工線の間水位計観測孔を設け、地下水位の測定を行った。水位計には、絶対圧水位計 (S&DL mini, 5m レンジ) を用い、2009 年 7 月中旬から 2009 年 11 月中旬まで測定した。測定のインターバルは 15 分間隔である。なお、以後に記す「2. 2. 2 調査結果」の中で地下水位の状態を表すにあたって、地表面から地下水までの深度で表す場合を単に「地下水位」と称す。



No.1圃場

No.2圃場

図 25 暗渠施工断面図

(左：No.1 圃場、右：No.2 圃場)

※図中の数値は地表面からの深度を示す。

##### b) 降水量

降水量は、アメダスデータ (天塩) を用いた。

##### c) 暗渠管からの排水量

暗渠管の落口に排水量測定器を設置し、2009 年 7 月中旬から 11 月中旬までの暗渠管からの排水量を測定した。この排水量測定器とは、電子式水道メーターを用いた暗渠排水量測定装置であり、暗渠管からの排水量を 5 分間隔で測定できる。なお、既設暗渠管と電子式水道メーターの間にはストレーナーを設置し、目詰まり防止を図った。

##### d) 土壌断面及び土壌の理化学性

暗渠施工断面の土壌断面調査を実施するとともに、暗渠施工断面の埋戻し部と未攪乱部から土壌を採取し、理化学性について分析した。分析項目及び分析方法は次のとおりである。

- ①容積重・実容積法による。
- ②強熱減量・電気炉内で 550°C・17 時間強熱して求めた。
- ③腐植含量・CN コーダー法による。
- ④飽和透水係数・変水位法による。

##### e) 暗渠管からの排水の水質

暗渠管の落口から採水し、石灰石の主成分である Ca のほか、pH (H<sub>2</sub>O) を分析した。

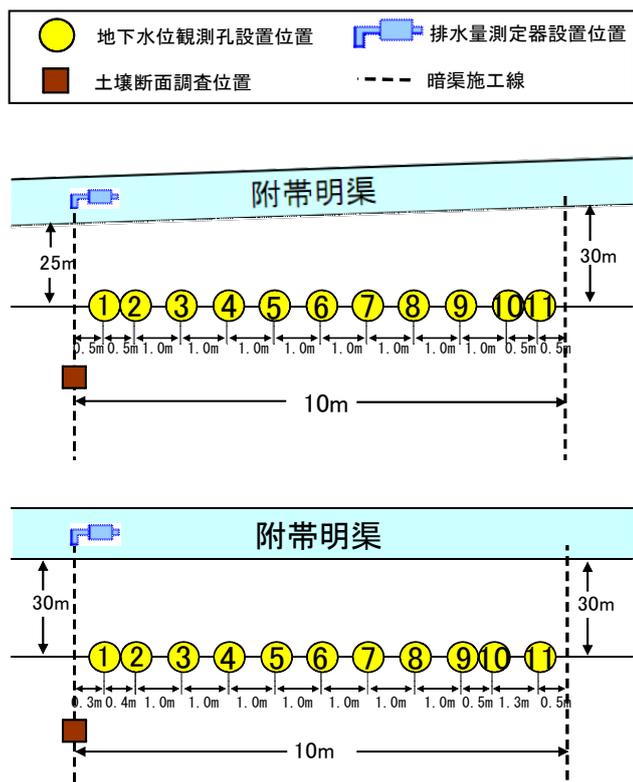


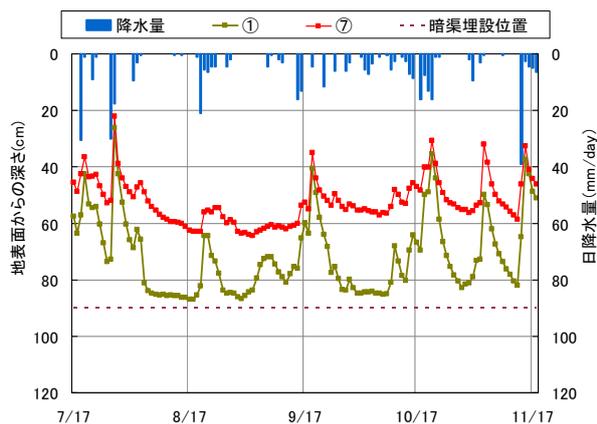
図26 地下水位観測孔と排水量測定器の設置位置  
及び 土壌断面調査位置  
(上段：No.1圃場、下段：No.2圃場)

## 2. 2. 2 調査結果

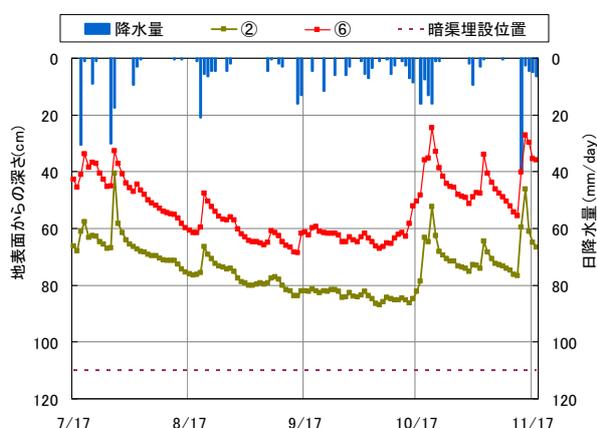
### (1) 地下水位

暗渠管付近及び暗渠間中央付近の地下水位の変動状況を調査圃場ごとに示す(図27)。また、日降水量、暗渠の埋設位置も同図に併せて示す。なお、暗渠管付近の地下水位のデータには、No.1 調査圃場では図26上段の①の水位計データを、No.2 調査圃場では図26下段の②の水位計データを用いた。暗渠間中央付近の地下水位データには、No.1 調査圃場では図26上段の⑦の水位計データを、No.2 調査圃場では図26下段の⑥の水位計データを用いた。

降雨により、暗渠間中央付近の地下水位が最も上昇したのは、No.1 調査圃場では7月28日の22cm、No.2 調査圃場では10月21日の25cmであった。これらの観測日から3日後の地下水位は、No.1 調査圃場では47cm、No.2 調査圃場では42cmまで低下していた。降雨後2~3日の畑の地下水位の指標を、土地改良事業計画設計基準(計画)「暗きよ排水」では地表面下40cm~50cmとしており<sup>8)</sup>、No.1、2 調査圃場ともに、この指標を満足していた。よって、暗渠の排水機能が維持されていると判断された。



No.1圃場



No.2圃場

図27 地下水位の変動

(上段：No.1圃場、下段：No.2圃場)

### (2) 暗渠管からの排水量

図28に1日あたりの暗渠管からの排水量(以後、日暗渠排水量と称す)と日降水量を示す。なお、暗渠管からの排水量は、各圃場で暗渠排水の支配面積が異なるため、単位面積あたりの排水量に換算して整理した。

No.1 調査圃場では日暗渠排水量の変動が観測期間を通して常に確認された。一方、No.2 調査圃場では、7月下旬と10月中旬以降においてはNo.1圃場と同様に日暗渠排水量の大きな変動が確認されたが、8月上旬から10月中旬にかけては確認されなかった。No.2 調査圃場では、8月中旬から10月中旬にかけては地下水位の上昇が小さかったことが原因となって(図27)、暗渠管からの排水量も少なくなったと考えられる。これらのことから、降雨による地下水位の上昇とともに暗渠管からの排水量が多くなることがわかった。



図28 日暗渠排水量の変動

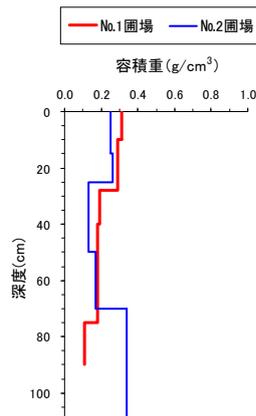


図29 容積重

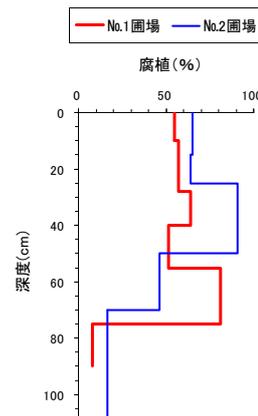


図-30 腐植

(3) 土壌断面及び土壌の理化学性

暗渠施工断面は図25に示した通りである。土層区分は、No.1, No.2 両調査圃場ともに、表層より作土層、その下にヨシを主体とした泥炭土層、さらにその下部に泥炭混じりの粘土層となっている。また、暗渠管の管頂より上方に15cm厚で石灰石が、さらにその上部に砂利が疎水材として埋戻されていた。土壌断面調査のため掘削した箇所における暗渠の埋設深は、No.1 調査圃場では90cm深、No.2 調査圃場では110cm深であった。

No.1, No.2 両圃場の暗渠施工断面付近の未攪乱部から採取した土壌の容積重、腐植、強熱減量の分析値を図29～31に示す。No.1, 2 調査圃場ともに強熱減量や腐植が大きく、また、容積重が小さい値を示しており、どちらの圃場でも泥炭土壌の特徴を示していた。

図32、図33は、容積重と飽和透水係数を埋戻し部と未攪乱部でそれぞれ比較した図である。埋戻し部の容積重はNo.1, 2 調査圃場ともに、未攪乱部と同程度の値であった。また、埋戻し部の飽和透水係数は、No.1 調査圃場では約  $10^{-3}$  cm/s のオーダー、No.2 調査圃場では約  $10^{-2}$  ~  $10^{-3}$  cm/s のオーダーであり、それぞれ未攪乱部より大きい同程度の値であった。地下水位を所定の時間内に所定の深さまで低下させるためには、土壌の土壌性が適正なものでなくてはならず、また、必要な地耐力と浸透量を確保するためには、亀裂等の土壌構造が発達し、好ましい透水性を保持していることが必要とされている。この目標となる土壌条件として、透水係数は、畑の場合、土地改良事業計画設計基準（計画）「暗きょ排水」では、 $1 \times 10^{-4}$  cm/s 程度が望ましいとされている<sup>8)</sup>。埋戻し部の飽和透水係数は、No.1, 2 調査圃場ともにこの値を満足していたことから、暗渠管上方からの排水ルートが確保されていると推測された。

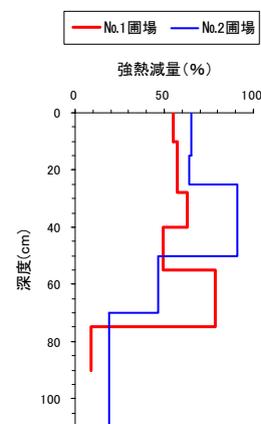


図31 強熱減量

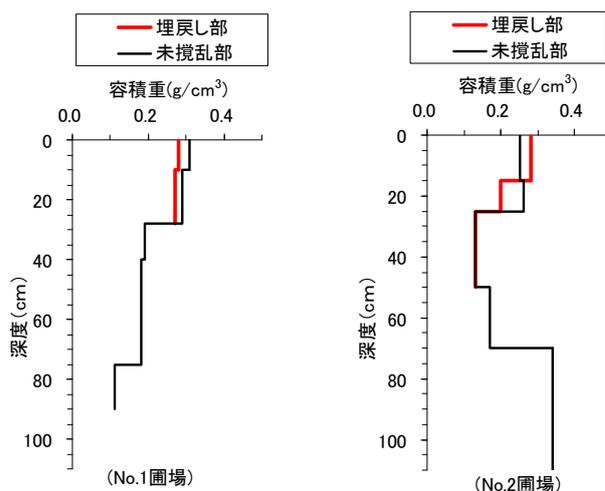


図32 容積重の埋戻し部と未攪乱部との比較 (左：No.1圃場、右：No.2圃場)

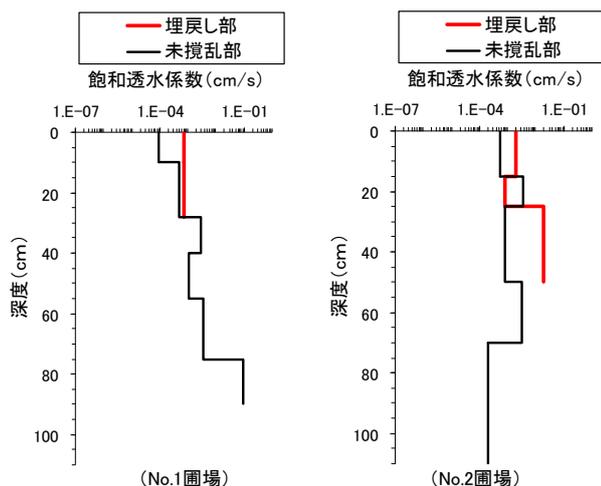


図33 飽和透水係数の埋戻し部と未攪乱部の比較(左:No.1圃場、右:No.2圃場)

(4) 暗渠管からの排水の水質

暗渠排水のCa濃度は、No.1, 2 調査圃場ともに、従来型暗渠のCa濃度よりも高い値を示した(表1)。なお、参考までに示した従来型暗渠のCa濃度は、北海道北部の日本海沿岸に分布するサロベツ泥炭地での値である。一般に泥炭土壌から浸出する水は酸性を呈している<sup>9)</sup>。この酸性の土壌水が石灰石と反応したことで、石灰石からCa成分が溶出したと考えられる。また、このことにより調査圃場の暗渠排水のpHは高い値を示したと推測され、下流水域への水質負荷抑制が期待された。

表1 暗渠管からの排水の水質

調査項目	調査圃場		参考値 <sup>8)</sup>
	No.1圃場	No.2圃場	
pH(H <sub>2</sub> O)	6.5~6.8	6.3~6.4	4.6~6.9
Ca(mg/L)	55~56	123~127	0.7~6.5

2. 3. 疎水材に火山礫を用いた暗渠

2. 3. 1. 調査方法

(1) 調査圃場の概要

調査圃場は北海道空知群南幌町の水田転換畑(平成22年は秋まき小麦を栽培)であり、A~Fの6圃場とした(図34)。調査期間は、営農と天候に配慮し、秋まき小麦の収穫後の8月から積雪前の11月までとした。

これら調査圃場には、疎水材に火山礫が用いられた暗渠(以後、火山礫暗渠と称す)が施工されており、暗渠の施工後3~9年が経過していた(表2)。いずれの圃場

でも、暗渠管には内径80mmのコルゲート多孔管が使用されており、暗渠管と暗渠管の間隔は10mであった。

また、どの調査圃場の土壌とも地表面から、耕起による影響がみられたAp1層、グライ化がみられたAp2層及び、ヨシ混じりの泥炭層で構成されていた。

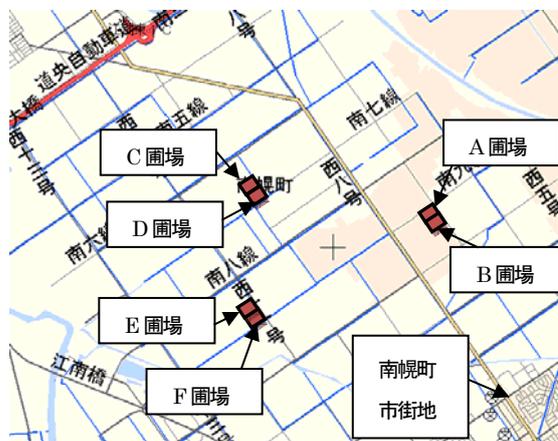


図34 調査圃場位置(出典:電子国土)

表2 暗渠施工後の経過年数

圃場名	経過年数
A圃場	9年
B圃場	9年
C圃場	6年
D圃場	6年
E圃場	3年
F圃場	3年

(2) 調査項目・方法

a) 地下水位調査

降雨後の地下水位の低下状況を確認するために、圃場の暗渠と暗渠の施工線間に水位計観測孔を設け、地下水位の測定を行った(図35)。水位計には絶対圧水位計(水位測定範囲4m)を用い、2010年8月から2010年11月まで測定した。測定の間隔は60分とした。なお、地下水位観測孔は、1圃場あたり3箇所設置した。調査結果で示す地下水位は、3箇所から得られたデータの平均値とした。

設計基準「暗きょ排水」では、地下水位は降雨後2~3日で40~50cm、降雨後7日で50~60cmまで低下することが、作物の生育にとって望ましいとされている<sup>8)</sup>。ここでは、地下水位のピーク時を基準として、2~3日後、及び7日後の地下水位をもって暗渠の機能を評価することとした。

b) 地耐力調査

降雨後の地耐力を確認するために、貫入式土壌硬度計（コーンの先端角度：30°、コーンの断面積：2cm<sup>2</sup>）を用いてコーン指数を測定した。各圃場の調査箇所は地下水位を計測した箇所にて計測を実施した（図 35）。30mm/日以上の降水量が計測された日の翌日から3日間、午前と午後2回（1回の調査で1圃場あたり合計6回）、地耐力調査を実施した。なお、降水量の計測には、転倒ます型雨量計を用いた。

設計基準（暗きょ排水）では、農業機械が走行するためには降雨後7日目に、地表面から15cmまでのコーン指数の平均値が0.39MPa以上確保されている必要があるとしている<sup>8)</sup>。本調査ではこの指標をもって地耐力調査結果を評価することとした。

c) 疎水材断面調査

1圃場あたり1カ所、暗渠の埋設深まで掘削し、疎水材の断面形状等を確認した（図 35）。

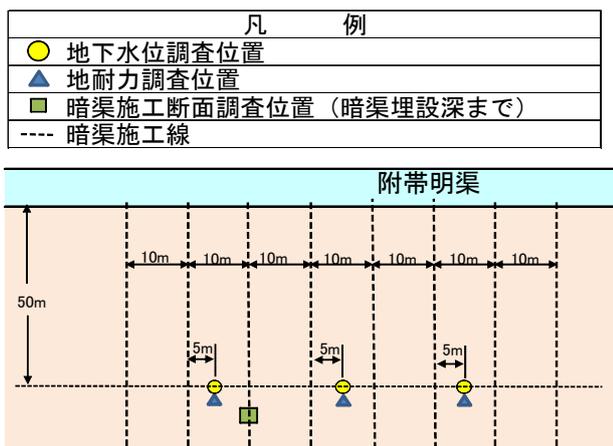


図 35 調査位置の概要

d) 疎水材性状調査

疎水材断面調査時に火山礫を採取し、飽和透水係数、及び疎水材に含まれていたシルト・粘土の合計量（粒径0.075mm以下）を求めた（表3）。

表 3 疎水材性状調査の試験項目及び方法

試験項目	試験方法
飽和透水係数	50cc 採土管で未攪乱の試料を採取し、変水位法で飽和透水係数を計測。
シルト・粘土含量	ビニール袋に採取した攪乱試料を0.075mm以下にふるい分け、重量計測。

2. 3. 2. 調査結果及び考察

(1) 地下水位調査

8月23日から24日までの期間で合計63mmの降雨が確認され、8月24日の地下水位が観測期間中で最も高くなった。そこで、8月24日から2~3日後、及び7日後の地下水位が、設計基準「暗きょ排水」に示されている地下水位の目安を満たしているかどうかを確認した。

A~Fのいずれの圃場においても、地下水位は降雨後2~3日目には地表面より40~50cm以下に、降雨後7日目には50~60cm以下に低下しており（図36）、暗渠の排水機能は良好であると考えられる。

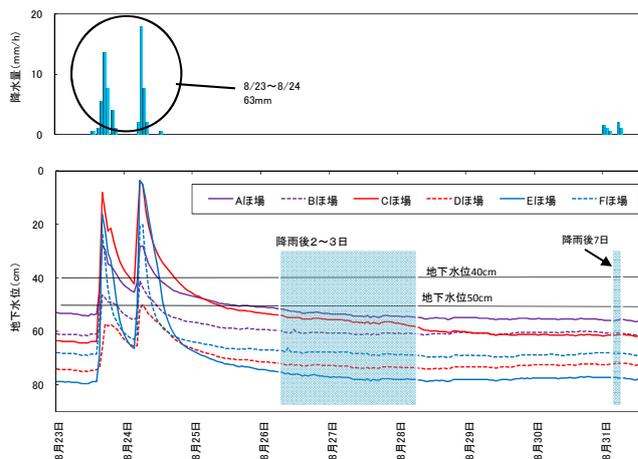


図 36 地下水位の変動

(2) 地耐力調査

地下水位調査と同様に、8月24日以降の地耐力の回復をもって、暗渠の機能を評価することとした。いずれの圃場も、降雨後2~3日目には農業機械の走行に必要なコーン指数である0.39MPa以上<sup>8)</sup>が確保されていた（図37）。このため、暗渠の排水機能は良好であると考えられた。

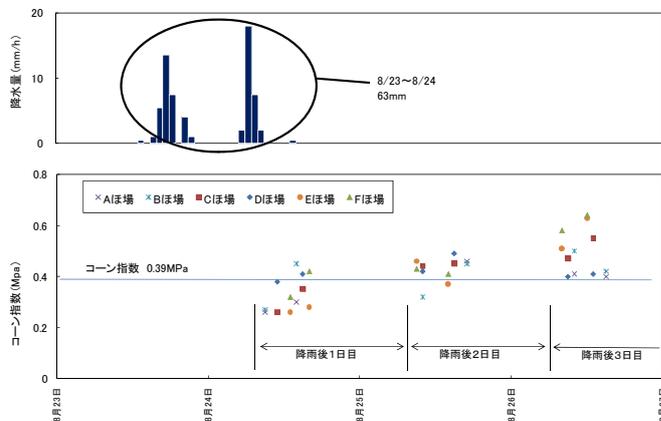


図 37 降雨後のコーン指数の推移

(3) 疎水材断面調査

A 及び B 圃場では、暗渠施工時の暗渠溝の深さは地表より 90cm 深に、また、地表面より 25cm が作土層となるように区画整理がなされた。また、C～F 圃場では、暗渠溝の深さが 100cm に、作土層の施工厚さについては A、B 圃場と同様に 25cm が確保されるように整備された。疎水材の埋設幅は全ての圃場で 15cm を計画値としていた。

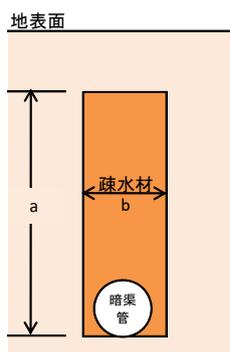
暗渠施工断面を掘削し、実際に疎水材層の断面形状を確認したところ、表 4 に示すように、営農による耕起深の違いのため、疎水材の埋設深さにはバラツキがみられ、A、B、C、及び D 圃場では設計値と比較して厚さの減少がみられた。また疎水材の埋設幅は設計値と比較すると、平均して 1～2cm 程度の縮小がみられた。なお、後述の「(4) 疎水材性状調査」で示すとおり、どの断面においても所定の計画排水量を排水するだけの機能を有していた。

表 4 疎水材の断面 (単位: cm)

圃場名	疎水材層の深さ (a) ※1	疎水材層の幅 (b) ※1
A 圃場	57 (65) ※2	14.4 (15.0) ※2
B 圃場	55 (65) ※2	14.0 (15.0) ※2
C 圃場	67 (75) ※2	13.7 (15.0) ※2
D 圃場	58 (75) ※2	13.6 (15.0) ※2
E 圃場	84 (75) ※2	13.6 (15.0) ※2
F 圃場	80 (75) ※2	13.1 (15.0) ※2

※1 測定箇所 (a), (b) は図 38 を参照

※2 ( ) の数値は設計値を示す



※ a の値は、作土層以深で確認された疎水材層の深さを示す。  
b の値は、疎水材層の深さ方向の浅部、中間部、深部の 3 箇所にて計測した疎水材層の幅を平均した値である。

図 38 疎水材断面測定箇所

(4) 疎水材性状調査

疎水材の飽和透水係数は、 $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$  のオーダーであった (表 5)。暗渠間隔 10m、表 4 に示す疎水材の幅を前提条件にして、計画暗渠排水量 50mm/日 を流すために必要な透水係数の値を計算すると、調査結果で得

られた透水係数の値はこの必要な透水係数の値よりも大きかった。すなわち、いずれの圃場においても、疎水材層は、計画排水量を排水するために必要な機能を維持していると考えられた。

また、疎水材のシルト・粘土の含有量の合計値は、いずれの圃場でも 5～6% であった (図 39)。既往の文献には、疎水材として使用するためのシルト・粘土含有量の目標値として、10% 程度の値が示されている<sup>15)</sup>。いずれの圃場でもこの目標値を満足しており、疎水材は目詰まりしていないと考えられた。

表 5 疎水材の飽和透水係数 (単位: cm/s)

圃場名	飽和透水係数 (a)	必要な飽和透水係数 (b)
A 圃場	$1.2 \times 10^{-1}$	$4.0 \times 10^{-3}$
B 圃場	$6.9 \times 10^{-2}$	$4.1 \times 10^{-3}$
C 圃場	$2.2 \times 10^{-1}$	$4.2 \times 10^{-3}$
D 圃場	$3.3 \times 10^{-1}$	$4.3 \times 10^{-3}$
E 圃場	$1.5 \times 10^{-1}$	$4.3 \times 10^{-3}$
F 圃場	$1.7 \times 10^{-1}$	$4.4 \times 10^{-3}$



図 39 シルト・粘土含量

3. 暗渠機能の低下要因の解明

過年度の調査において、掘削土を埋め戻す暗渠では、掘削土下部の還元化の進行に伴う土粒子の細粒化など多数の要因による暗渠排水機能の顕著な低下が認められた。これまでに設計基準等の既存文献に整理されている、暗渠の機能低下要因には次のようなことが挙げられている。

《直接的要因》

- ・ 耕盤層の形成や下層土のグライ化にみられる土壌物理性の不良、
- ・ 疎水材の投入量不足
- ・ 暗渠管の穴の目詰まりや暗渠管内の泥土の堆積による通水阻害

- ・暗渠管の破損
- ・落水口、水閘等の破損
- ・吸水管の浅層化や逆勾配の発生
- …等。
- 《間接的要因》
- ・暗渠落ち口以降の排水路の管理不足(床ざらいの未実施)
- ・暗渠管、落水口、水閘等の維持管理不足
- …等。

しかし、疎水材型暗渠では、前述のとおり、ホタテ貝殻、チップ、火山礫でもみられるように、10年程度を経過しても疎水材の機能は十分に維持されており、暗渠の機能低下は認められなかった。疎水材型暗渠の排水機能低下の要因解明は、今後の長期に渡る調査により明らかにする必要がある。

#### 4. 暗渠機能の長期維持のための機能診断手法の提案

暗渠排水工の機能を診断する際には、降雨後の地下水位の低下や地耐力の回復を確認するために、地下水位調査や地耐力調査が実施されている。この地下水位調査は、圃場に地下水位観測孔を設置して計測を行うため、設置に手間がかかり、また、営農に支障をきたす場合がある。

一方、地耐力調査は、貫入式土壌硬度計を用いてコーン指数を測定する簡易な調査法であり、営農に支障をきたす事はない。そこで、地耐力調査の結果から地下水位を推定することによる、簡易な暗渠排水工の機能診断手法の提案を試みることにした。

##### 4. 1. 調査方法

###### (1) 調査圃場の概要

調査は北海道空知群南幌町の圃場で実施した。この調査圃場は、「2. 3. 疎水材に火山礫を用いた暗渠」に示すA~Fまでの6圃場である。

###### (2) 調査項目

###### a) 地下水位調査

「2. 3. 疎水材に火山礫を用いた暗渠」で示した地下水位調査結果を用いることとした。

###### b) 地耐力調査

地下水位の計測箇所付近で、貫入式土壌硬度計(コーンの先端角度:30°、コーンの断面積 2cm<sup>2</sup>)を用いて、地表面から5、15、25cmの深さのコーン指数を測定した。この地耐力調査は、30mm/日程度の降雨を確認後、ただちに調査圃場に行き、1日目と3日目に実施した。圃場ごとの測定回数の内訳を表6に示す。

表6 地耐力調査の実施期間

圃場名	地耐力調査の実施日						計
	8/24 (1日目)	8/26 (3日目)	9/8 (1日目)	9/10 (3日目)	10/5 (1日目)	10/7 (3日目)	
A圃場	1	1	1	1	1	1	6
B圃場	1	1	1	1	1	1	6
C圃場	1	1	1	1	0	0	4
D圃場	1	1	1	1	0	0	4
E圃場	1	1	0	0	1	1	4
F圃場	1	1	0	0	1	1	4
計	6	6	4	4	4	4	28

###### c) 土壌分析

地耐力調査を実施した直後に、地表面から5、15、25cmの深さで試料を採取し、表7に示す分析方法で含水比を分析した。

表7 土壌分析の分析項目及び方法

分析項目	分析方法
含水比	ビニール袋に採取したかく乱試料を、105℃で24時間乾燥。

#### 4. 2. 結果及び考察

##### (1) 地下水位とコーン指数の関係

A~F圃場で得られた地下水位とコーン指数(地表面から5、15、25cmの平均値)との関係を図40に示す。図40をみるとわかるように、地下水位とコーン指数との間にはデータのバラツキが認められた。そこで、同一のコーン指数の値に対して地下水位の値が最も高くなる点を直線で結び、図40中に示す。一方、設計基準「暗きよ排水」には、暗渠整備目標の基本的な指標として、降雨後2~3日目に地下水位が地表面より40~50cm以下まで低下することが示されている<sup>8)</sup>。前述の直線から求まる地下水位40cm相当のコーン指数の値は、0.45MPaである。例えば、降雨後2~3日でコーン指数が0.45MPa以上得られるようであれば、地下水位は少なくとも40cmまで低下していると推測できる。このように、事前に判断指標となる

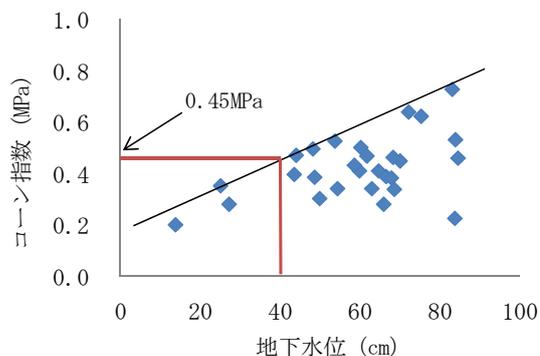


図40 地下水位とコーン指数の関係

コーン指数を把握しておくことは暗渠の簡易な機能診断に繋がると考えられる。

(2) 地下水位とコーン指数、及び、地下水位と含水比との相関関係

地下水位とコーン指数、及び、地下水位と含水比のそれぞれの1次関数は、t分布検定を行った結果、どちらも危険率5%で相関が確認された(図41, 42)。次に、この2変数と地下水位の重回帰式を求めた(式1)<sup>16)</sup>。これらの相関式を比較した結果、重回帰式の相関係数が最大であったことから、地下水位の推定値の精度を高めるためには、コーン指数と併せて、含水比も測定することが効果的であると考えられる。

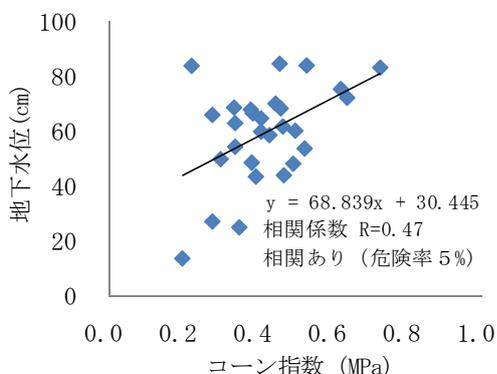


図41 地下水位とコーン指数との相関関係

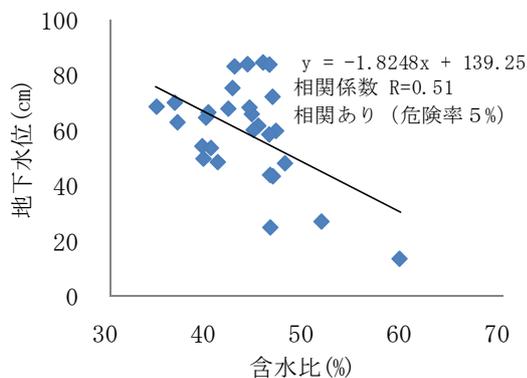


図42 地下水位と含水比との相関関係

$$Y = 105.32 + 56.70X_1 + 1.59X_2 \dots \text{(式1)}$$

(相関係数 R=0.64)

- Y : 地下水位 (cm)
- X<sub>1</sub> : コーン指数 (MPa)
- X<sub>2</sub> : 含水比 (%)

5. 暗渠機能の長期維持手法の提案

暗渠管の排水口から水の流出が見られず、暗渠の機能

が低下しているときには、以下の①～③に示す現象が発生している場合がある<sup>8)</sup>。

- ①暗渠管内の閉塞による排水不良
- ②疎水材の目詰まり
- ③疎水材投入不足による透水性の不良

このため、暗渠の機能を長期に渡り維持するためには、上記①～③に対する対策が必要となってくる。

ここでは、これらの対策として、実施または試験的に施工されている事例の整理を試みた。

5. 1. 暗渠管内の清掃

(1) 用水路の注水による暗渠管内の清掃

暗渠管内に用水路からの水を直接注入することが可能な場合、この用水の注入によって暗渠管内の堆泥を除去する方法を採用している例がある(図43)。この作業はフラッシングと呼ばれている。近年の水田整備では、このフラッシングに対応した暗渠が整備されるようになってきている<sup>17), 18)</sup>。

このフラッシングシステムには、用水路から暗渠管へ接続しているパイプに水甲が装着されており、フラッシングを行うときには、この水甲をオープンにすることで、用水路の水が暗渠管へ注水される。なお、この水甲は耕作道路の沿いに設けることで、車両で移動しながら、効率的にフラッシング作業が可能となる。

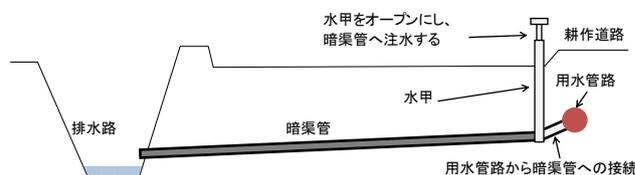


図43 暗渠管のフラッシングシステムの概念図 (用水管から暗渠管へ注水する場合)

このフラッシングシステムの効果を確認するために、前述の「2. 3. 疎水材に火山礫を用いた暗渠」に示した、北海道空知群南幌町の調査圃場において小型のビデオカメラを火山礫暗渠の管内に挿入して堆泥状況を観察した(写真5～7)。なお、このビデオカメラの挿入可能延長は、暗渠管落ち口から30mである。

観測の結果、いずれの圃場においても、通水を阻害するような堆泥は認められなかった。土砂の付着量が少なかったのは、施工後6年が経過していたものの毎年1回、春先にフラッシングを実施していた圃場であった(写真6)。平常時における維持管理の重要性が伺われる。

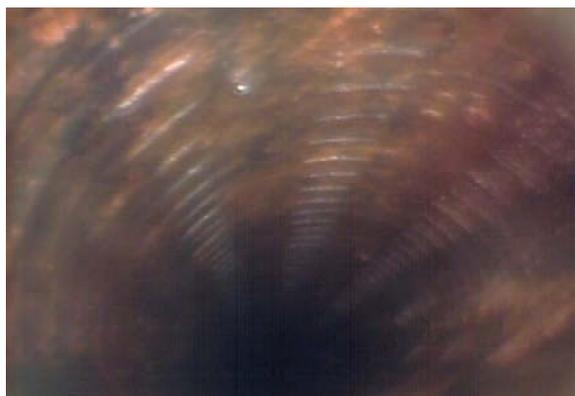


写真5 暗渠管内の観測結果

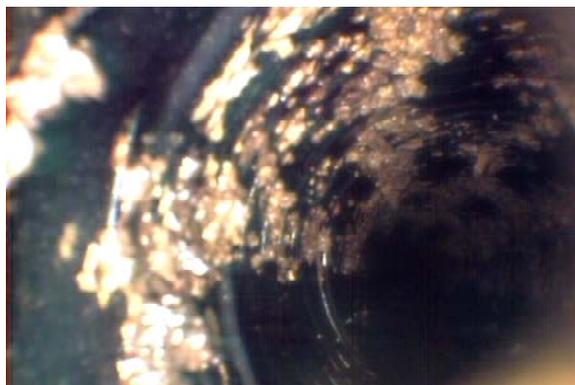
(施工経過年数：3年、フラッシング状況：施工後1年目のみ実施)



写真6 暗渠管内の観測結果

(施工経過年数：6年、フラッシング状況：施工後毎年1回、春先に実施)

写真7 暗渠管内の観測結果



(施工経過年数：9年、フラッシング状況：施工後1年目のみ実施)

## (2) スポット孔による清掃

甲谷らは、スポット孔による暗渠管内の清掃試験を実施している<sup>19)</sup>。これは、暗渠の管頂付近まで圃場内にオーガーで径10cmの孔(この孔をスポット孔と呼ぶ)を施工し、その孔に注水することで、暗渠管を清掃する方法である(図44)。

このスポット孔からの注水によって暗渠管内の泥土が流れ出し(写真8)、清掃完了後には、降雨に対してほと

んど排水がみられなかった暗渠から排水が確認され、清掃効果が認められたと報告されている。

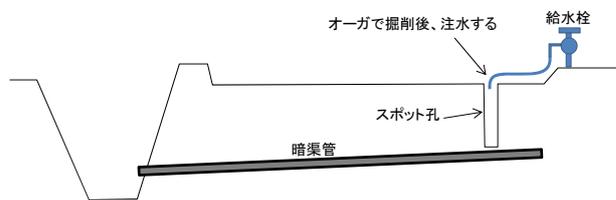


図44 スポット孔による暗渠の清掃



写真8 暗渠管の排水口からの排水状況<sup>19)</sup>

(左：清掃中、右：清掃完了後)

## (3) 動力噴霧機を用いた清掃

設計基準「暗きょ排水」には、暗渠管に洗管ノズルを挿入し、管内の泥土を除去する方法が示されている<sup>8)</sup>。用水路からの水を高圧水として洗管ノズルへ噴出するために、動力噴霧機が用いられている。洗管ノズルの挿入方法には、①暗渠立ち上がり管から挿入する方法、②暗渠の排水口から挿入する方法がある。①の場合には、用水路の水を流入させながら、洗管ノズルの送り込みが可能である(図45)。一方、②の場合では、用水路の水を送り込みながらの作業は不可であるが、暗渠立ち上がり管が設置されていない圃場で可能な方法である。

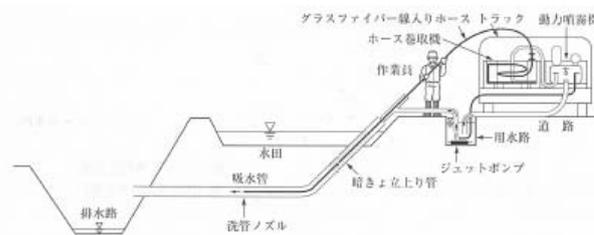


図45 動力噴霧機を用いた暗渠管の清掃<sup>8)</sup>  
(立ち上がり管から洗管ノズルを挿入する場合)

## 5. 2. 疎水材の補充

暗渠疎水材にもみ殻を用いた暗渠で、もみ殻の腐食が進んだときには、暗渠直上付近まで掘削し、新しい疎水

材を補充する方法 (図 46) が提案されている<sup>19),20)</sup>。この方法は、既設の暗渠管をそのまま残すため、暗渠管を新たに埋設するよりも、工事費の縮減が可能である。

甲谷らの試験結果<sup>19)</sup>によると、暗渠疎水材の更新前と比較して、暗渠排水率 (暗渠管からの排水量/全降水量) の向上が確認されている。また、村島らの試験結果<sup>20)</sup>では、既設の暗渠が蛇行している場合があり、既設暗渠の直上に疎水材を投入するためには熟練した掘削操作が必要になると報告されている。

上記の工法は、トレンチャーもしくはバックホウを用いて掘削することとしている。一方、簡易にもみ殻を充填する工法として、市販の鋼材を使用して安価に製作した機械を農業用トラクターに装着し、もみ殻の充填を行う方法が岩佐らによって考案されている<sup>21)</sup>。

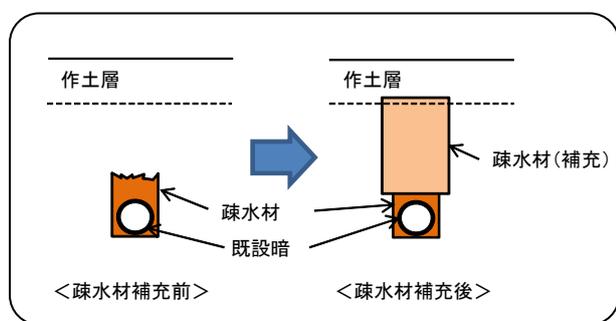


図 46 疎水材の更新の概念図

### 5. 3 補強暗渠の導入

暗渠疎水材に用いられているもみ殻の腐食が進み、暗渠の排水機能が低下した圃場に、「補強暗渠」とよばれる別の暗渠を新設することによる、排水機能の回復効果を千葉らが検証している (図 47)。この補強暗渠の暗渠疎水材には腐食しない砕石が採用されていた<sup>22)</sup>。

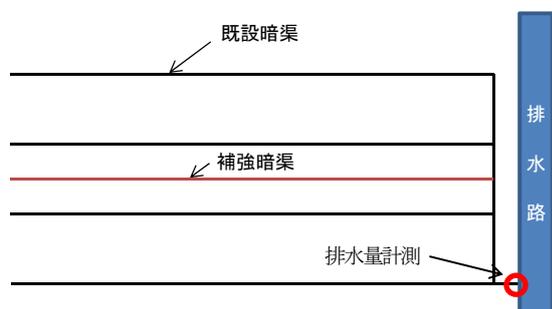


図 47 補強暗渠の配置の概念図

## 6. まとめ

平成 20 年度の調査結果からはホタテ貝殻や埋木チップを疎水材に使用した、長期供用後の暗渠工の排水機能

に関して次のことが明らかになった。

ホタテ貝殻や埋木チップを疎水材に使用した暗渠工の排水機能は慣行的な工法と比べて 11 年経過した時点でも差異がなく、ホタテ貝殻、埋木チップともに排水機能を損なうようなことはなかった。また、下流域への水質負荷要因となる、鉄分や富栄養分の窒素成分等の流出抑制がホタテ貝殻や埋木チップには認められ、これらの資材利用による環境負荷抑制が期待される。さらに、疎水材としてのホタテ貝殻は、強度、密度等の変化から特に経年劣化を示すような現象が認められず、11 年目でも十分に耐久性を有していると考えられる。ただ、貝殻成分のカルシウム分の溶出の兆候が伺われることから、今後経過観測が必要と考えられる。

一方、圃場面の沈下状況を見ると、貝殻区、チップ区ともに暗渠施工ライン上に溝状の沈下が確認された。排水機能に問題があるわけではないので、今後の重機等の走行を考慮すると、これらの範囲では客土等の対策が必要になると考えられる<sup>10)~12)</sup>。

平成 21 年度の調査結果からは石灰石を疎水材に用いた暗渠の排水実態が次の通り明らかになった。

石灰石暗渠を施工して 3 年が経過した圃場では、降雨後 3 日目の地下水位は 40cm 以下に低下していた。また、暗渠の埋戻し部の飽和透水係数は、約  $10^{-2} \sim 10^{-3} \text{cm/s}$  のオーダーであったことから、暗渠管上方からの排水ルートが確保されていると推測された。これらのことから、施工後 3 年が経過した石灰石暗渠の排水機能は、維持されていることがわかった。また、酸性を呈している排水の水質も改善が認められることから、下流水域への環境負荷抑制が期待された。

ただし、今回の調査結果は、石灰石暗渠の施工後 3 年目に得られたデータであることから、今後、石灰石暗渠の機能状況を把握するためには、長期に渡る経年変化の追跡が重要であると考えられた<sup>13)~14)</sup>。

平成 22 年度の調査結果からは、疎水材に火山礫を用いた暗渠を対象として、暗渠機能低下要因の解明を試みたところ、次のことが明らかになった。

施工後 3, 6, 9 年、いずれの圃場も、地下水位、地耐力ともに設計基準の値を満足しており、暗渠の機能低下は認められなかった。また、疎水材のサンプルを採取し、飽和透水係数、シルト粘土含量調査を行ったところ、いずれの圃場の疎水材も、目詰まりは認められなかった。これらのことから、暗渠の機能低下の要因を解明していくためには、さらに長期に渡る調査が必要になると考えられた。

また、地表面に近い箇所のコーン指数や含水比の計測値を用いた重回帰式から地下水位推定の可能性が確認できたことから、暗渠圃場の排水性の簡易的な判断手法としてこれらを指標とすることが有効と考えられた。

さらに、今後、暗渠機能の長期維持手法を提案していくための基礎資料として、これまでに実施されたり、試験的に施工されたりしてきた暗渠管の清掃、疎水材の更新方法について、既往の文献を参照して整理した。

## 参考文献

- 1) 大戸信貞、森川俊次、中村和正、岡本隆、石渡輝夫：暗渠排水の疎水材として用いた貝殻及び埋木チップの効果と耐久性、開発土木研究所月報No574、pp. 18～28、2001
- 2) 土壌物理研究会編：土壌の物理性と植物生育、p. 210、p. 270-274、養賢堂、1979
- 3) 北川巖：圃場の総合的な排水改良技術の確立に関する研究、pp. 1-42、北海道立農業試験場報告第 113 号、北海道立中央農業試験場、2007
- 4) 三坂直樹、長尾諭、今川幸久：泥炭土壌における鉄分流出抑制に有効な暗渠排水疎水材の検討、pp. 91-95、水と土 第 153 号、農業土木技術研究会、2008
- 5) 石渡輝夫、横堀将、横濱充宏、高宮信章：暗渠排水の機能不良要因の解明とその改善対策（その 1）、p2-9、開発土木研究所月報No.498、開発土木研究所、1994
- 6) 石渡輝夫、横堀将、横濱充宏、高宮信章：暗渠排水の機能不良要因の解明とその改善対策（その 2）、pp. 3-11、開発土木研究所月報No.499、開発土木研究所、1994
- 7) 松井信行、道脇綾子：環境の立場から見た炭酸カルシウム、東京外国大学留学生日本語教育センター論集 33、pp. 85～96、2007
- 8) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準 計画「暗きょ排水」基準書・技術書、p21, 37, 39, 81, 83, 130, 161-164、2000
- 9) 北海道開発局：サロベツ総合調査報告書（泥炭地の変遷）、p47～62、1978
- 10) 岡村裕紀、大深正徳、中山博敬、山田章：泥炭農地における疎水材を用いた暗渠の長期供用後の排水機能の持続性と疎水材の性状保持に関する検討、独立行政法人土木研究所寒地土木研究所月報【報文】、No682、2010
- 11) 岡村裕紀、大深正徳、中山博敬：長期供用後の疎水材型暗渠の排水機能持続性と疎水材の性状変化、第 52 回北海道開発局技術研究発表会論文集、2010
- 12) 岡村裕紀、大深正徳、中山博敬：泥炭農地における長期供用後の暗渠疎水材性状変化、平成 21 年度農業農村工学会大会講演会、2009
- 13) 大岸譲、大深正徳、松里浩二：疎水材に石灰石を用いた暗渠排水の排水性について第 52 回北海道開発局技術研究発表会論文集、2010
- 14) 大岸譲、大深正徳、松里浩二：石灰石を疎水材に用いた暗渠の排水機能、平成 22 年度農業農村工学会大会講演会、2010
- 15) 北川巖、横井義男、後藤元、守屋明：北海道における各種暗渠疎水材の理化学性—暗渠排水の機能向上に関する研究（IV）一、pp128-129、第 47 回農業土木学会北海道支部、1998
- 16) 根岸卓郎：理論応用統計学、pp140-145、養賢堂、1972
- 17) 永土居智直、武下和幸、福田学：農地再編整備事業における効果発現に関する調査手法の紹介、第 53 回北海道開発局技術研究発表会論文集、2010
- 18) 藤井幸基、小野健太郎、橋本諭：国営農地再編整備事業 妹背牛地区における地下水位制御システムの構造と利用状況を踏まえた検証、第 53 回北海道開発局技術研究発表会論文集、2010
- 19) 甲谷潤、川戸義行、足立建夫：暗渠疎水材の更新法とスポット孔による暗渠管の清掃法、pp695-699、農業土木学会誌、1989
- 20) 村島和夫、白池秀紀、池登志幸、中田芳夫：石川県における暗渠排水機能の更新に関する試み、水土の知 Vol. 78、農業農村工学会、2010
- 21) 岩佐郁夫、菅原強、千田智幸：暗渠もみ殻疎水材の開削充填機および作業方法の考案、pp. 448-449、水土の知 Vol. 76、農業農村工学会、2008
- 22) 千葉克己、柴田三郎、小池知巴、神谷慶一、冠秀明：暗渠排水の機能回復工法の検討、pp532-533、平成 22 年度農業農村工学会大会講演会、2010

STUDY ON LONG TERM MONITORING OF FUNCTION AND